

The background features a warm, golden-yellow color palette with glowing, curved lines that create a sense of motion and depth. Overlaid on this are several lines of binary code (0s and 1s) in various colors, including white, yellow, and red, which appear to be receding into the distance, suggesting a digital or data-driven environment.

# **Circuitos Secuenciales Autómatas**

## **Apunte N° 8**

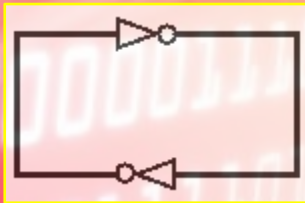
# Biestables

Un biestable es un dispositivo capaz de almacenar un bit (1 ó 0).

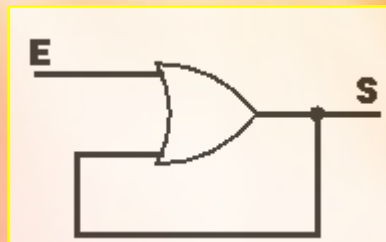
Principio de funcionamiento de un biestable: Utilizando realimentación entre puertas se puede mantener ( almacenar ) un valor estable hasta que cambien las condiciones de entrada.

Un circuito Flip-Flop puede mantener un estado binario en forma indefinida (en cuanto se suministre potencia al circuito) hasta que recibe la dirección de una señal de entrada para cambiar de estado.

La diferencia principal entre los diversos tipos de Flip-Flops esta en el número de entradas que poseen y en la manera en la cual las entradas afectan el estado binario.



Estas dos puertas NOT mantienen un valor estable (no puede modificarse porque no hay entradas)

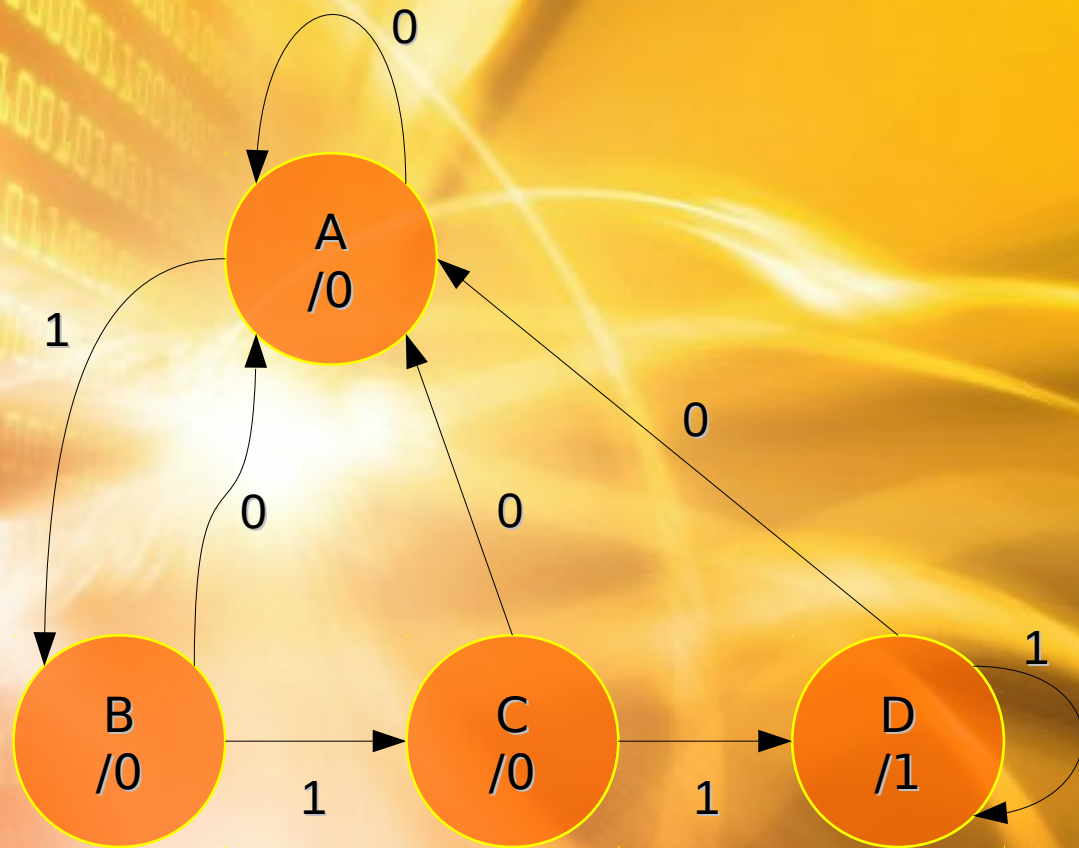


$$S_{(t+1)} = S_{(t)} + E$$

Al poner E a 1, S valdrá 1 (ese 1 ya no se puede borrar)

# Tablas y diagramas de estados

Estado Presente	Estado Siguiete		Salida
	x = 0	x = 1	
A	A	B	0
B	A	C	0
C	A	D	0
D	A	D	1



En el futuro nos referiremos al Estado Presente por el símbolo  $q$  y el Estado Siguiete por el símbolo  $q^{n+1}$ .

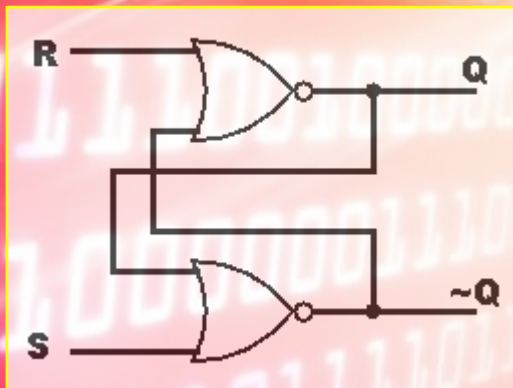
# Timing Trace (rastreo en el tiempo)

Un timing trace, es un conjunto de valores para las entradas y salidas arreglados en una forma consecutiva con relación a los pulsos de clock. Es usado normalmente para explicar o clarificar el comportamiento de un sistema.

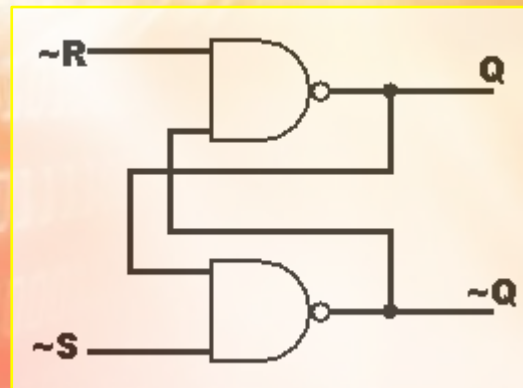
x	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0			
q	?	A	B	C	A	B	C	D	A	A	B	A	B	C	D	D	D	A	A	?	
z	?	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

# Latch

Un latch es un tipo de dispositivo lógico biestable o multivibrador de almacenamiento, construido con dos o más compuertas con realimentación. Un latch S-R (Set-Reset) con entrada activa a nivel ALTO se compone de dos puertas NOR acopladas; un latch S-R con entrada activa a nivel BAJO está formado por dos puertas NAND conectadas. Observe que la salida de cada puerta se conecta a la entrada de la puerta opuesta. Esto origina la realimentación (feedback) regenerativa característica de todos los latches y Flip-Flops.



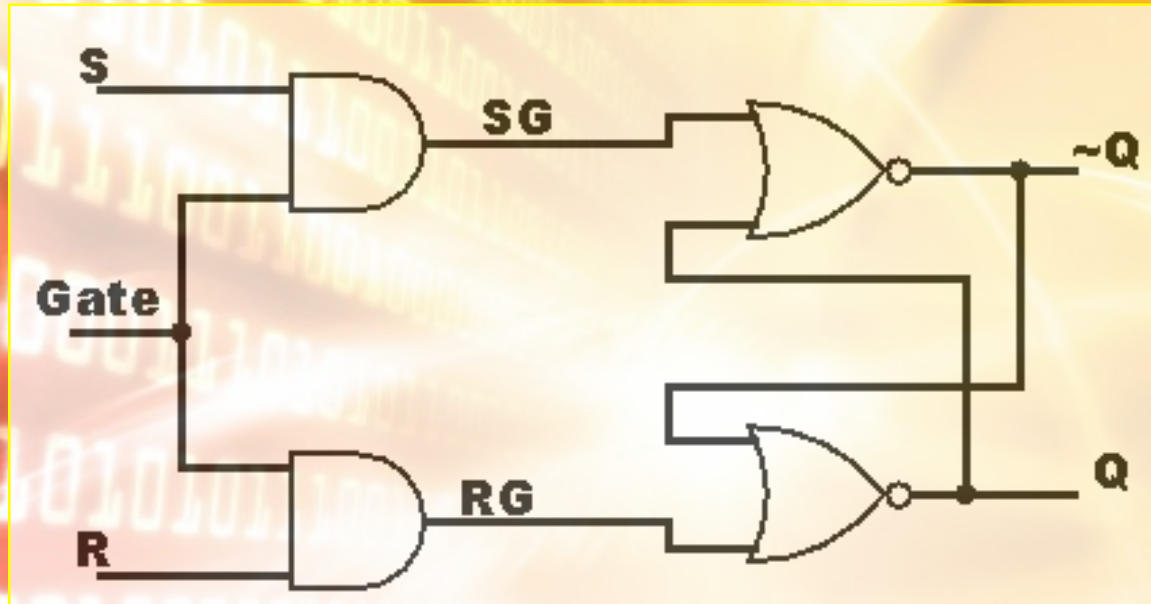
Latch S-R con  
entrada activa a  
nivel Alto



Latch  $\bar{S}$ - $\bar{R}$  con  
entrada activa a  
nivel Bajo

S = Set  
R = Reset

# Latch con gatillo (Gated)



En este latch, cuando la señal del gate es inactiva, tanto SG y RG serán 0 y el latch permanece sin cambios. Únicamente cuando la señal del gate es 1 el latch podrá recibir el valor 0 ó 1 así como el latch anterior.

# Biestables Flip-Flop

Los circuitos secuenciales básicos que funcionan también como unidades de memoria elementales se denominan multivibradores biestables (por tener dos estados estables –alto y bajo-), también conocidos como Flip-Flops.

El Flip-Flop es un dispositivo de almacenamiento binario con clock.

Bajo operaciones normales este dispositivo almacenará un 1 ó un 0 y sólo cambiarán estos valores en el momento que ocurra una transición del clock.

Las transiciones que pueden producir cambios en el sistema pueden ser cuando el clock va de 0 a 1, disparo por rampa de subida (leading-edge triggered), o cuando el clock va de 1 a 0, disparo por rampa de bajada (trailing-edge triggered).

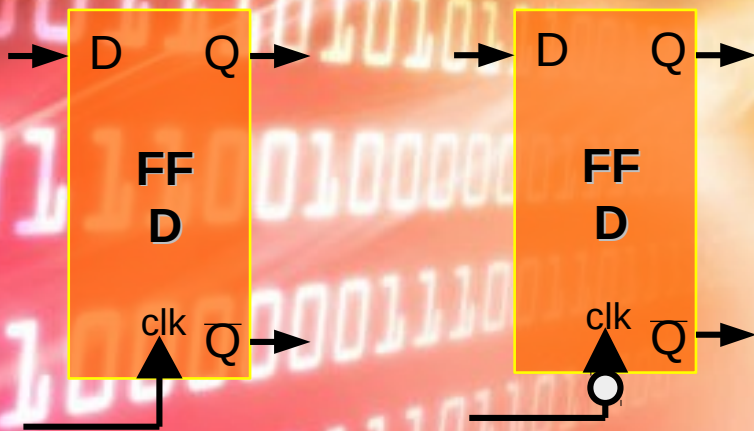
Estos circuitos pueden construirse con compuertas NAND o dos compuertas NOR. Cada circuito forma un Flip-Flop básico, La conexión y el acoplamiento cruzado mediante la salida de una compuerta a la entrada de otra constituye una trayectoria de retroalimentación. Por esta razón los circuitos se clasifican como secuenciales asíncronos. Cada Flip-Flop tiene dos salidas Q y Q negada.

# Flip-Flop tipo D

El Flip-Flop tipo D es el más usado y es encontrado comúnmente en dispositivos lógicos programables.

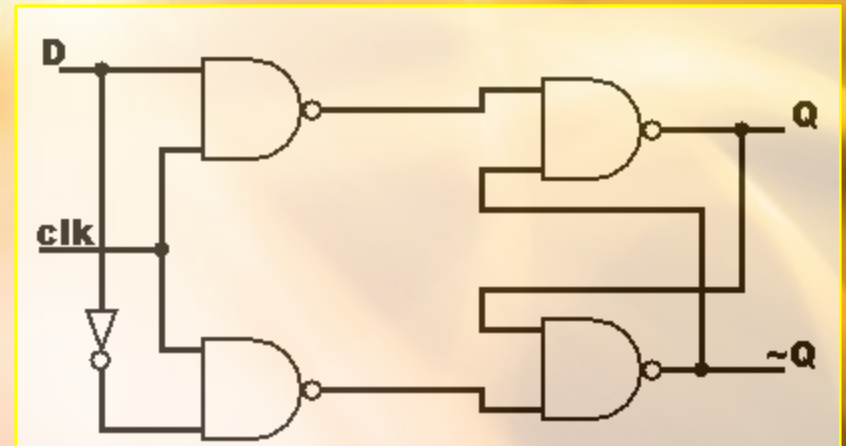
Cuenta con una única entrada D que se copia al interior del biestable en los instantes de sincronismo.

El nombre proviene de Delay (retardo), ya que su salida es un reflejo de lo que hay en la entrada con un retardo de un ciclo de clock.



D con rampa de subida

D con rampa de bajada

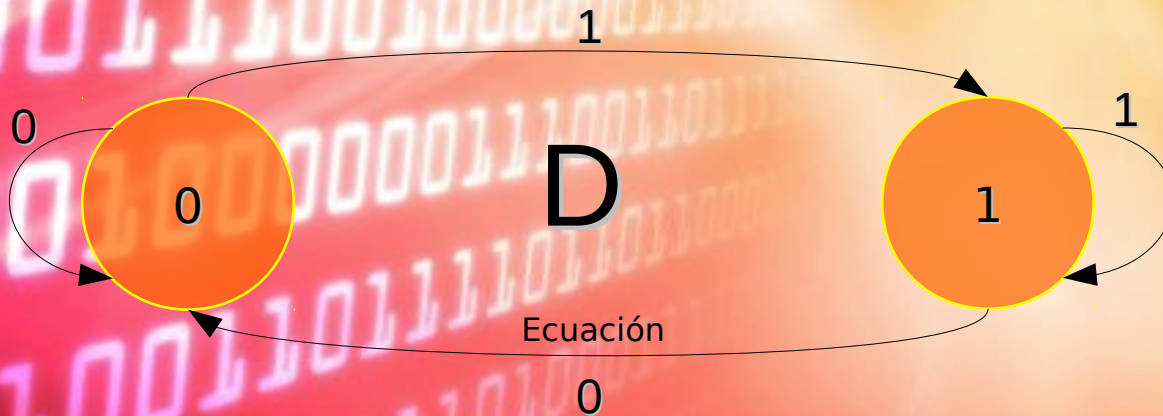




# Flip-Flop tipo D – Tabla de comportamiento y diagrama de estados

D	q	q <sup>n+1</sup>
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

D	q <sup>n+1</sup>
0	0
1	1



$$q^{n+1} = D$$

Ecuación

La entrada D es activa por nivel alto.

# Comportamiento de un Flip-Flop D con rampa de bajada

Diagrama de tiempo



La salida no se verá afectada, ya que el valor de la entrada D solo es relevante en el instante de la rampa de bajada

# Flip-Flop RS (Reset-Set)

El FF RS es un dispositivo con dos entradas (Set y Reset) y una variable de estado o salida (Q) capaz de “guardar” un bit de información y funciona como sigue:

- ◆ Si su entrada Set se activa su estado Q se pone en Alto
- ◆ Si su entrada Reset se activa su estado Q se pone en Bajo
- ◆ Si no se activa ni Set ni Reset su estado no cambia
- ◆ Por supuesto, no se permite activar Set y Reset simultáneamente.

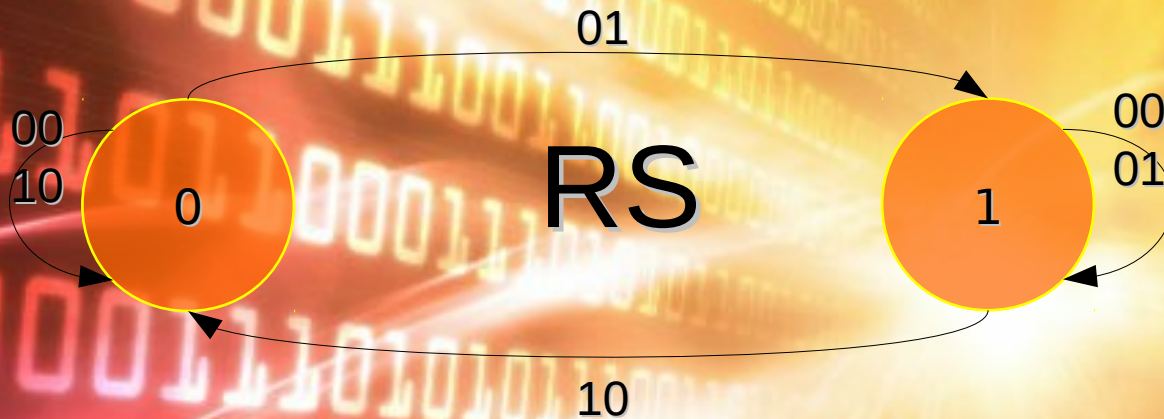
Tabla de comportamiento

R	S	q	q <sup>n+1</sup>
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	-
1	1	1	-

R	S	q <sup>n+1</sup>
0	0	q
0	1	1
1	0	0
1	1	-

Tabla de estados

# Flip-Flop RS – Diagrama de estados y Ecuación



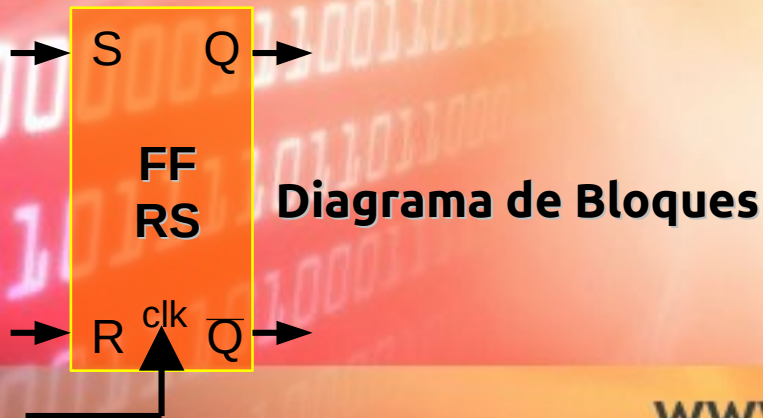
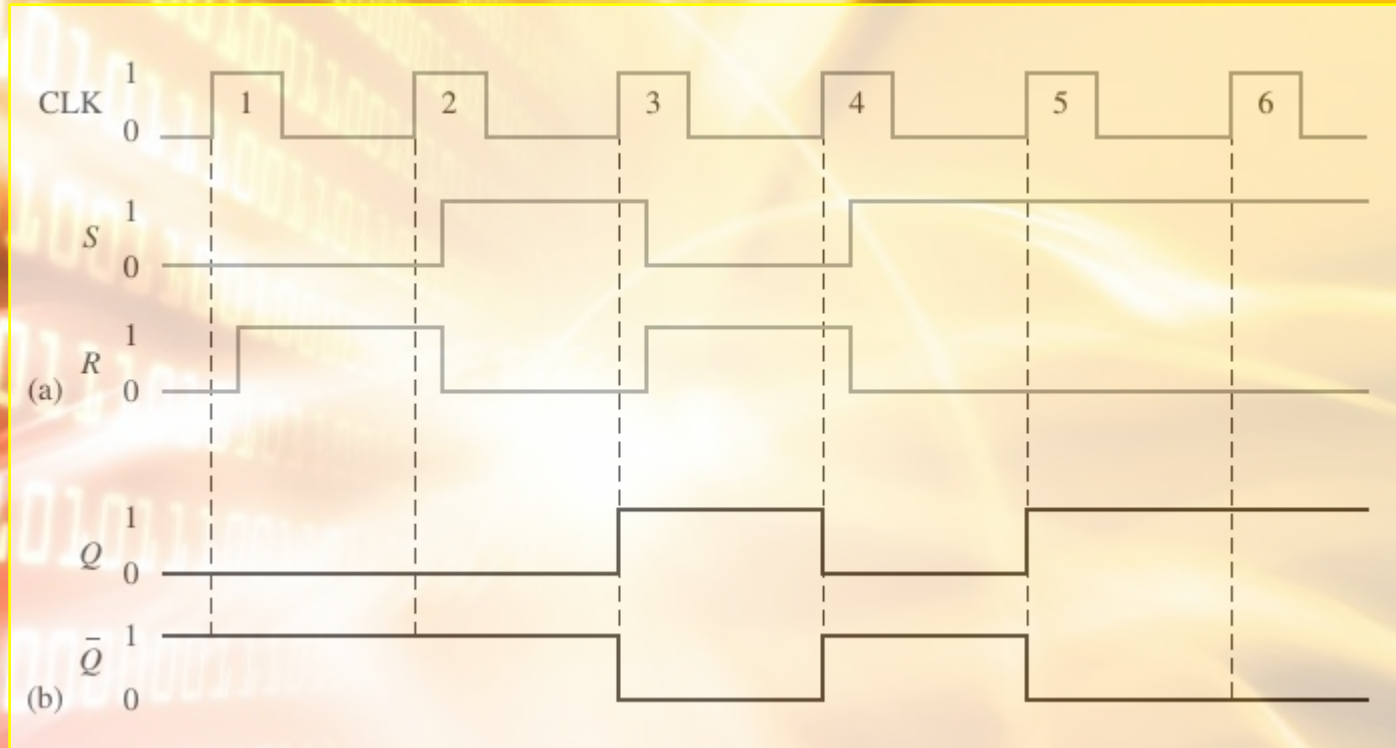
$$q^{n+1} = S + R\bar{q}$$

q\RS	00	01	11	10
0	0		X	1
1	1		X	1

q	q <sup>n+1</sup>	R	S
0	0	X	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	X

Tabla de Transiciones

# Flip-Flop RS – Diagrama de tiempo



# Flip-Flop T (Toggle)

Tiene una entrada T, de tal forma que si  $T = 1$ , el Flip-Flop cambia el valor del estado actual y si  $T = 0$ , el estado permanece sin cambios.

## Tablas de Comportamiento

Tabla de comportamiento

T	q	q <sup>n+1</sup>
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabla de estados

T	q <sup>n+1</sup>
0	q
1	$\bar{q}$

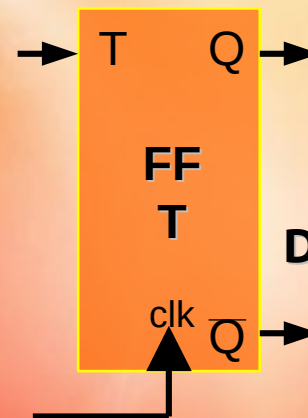
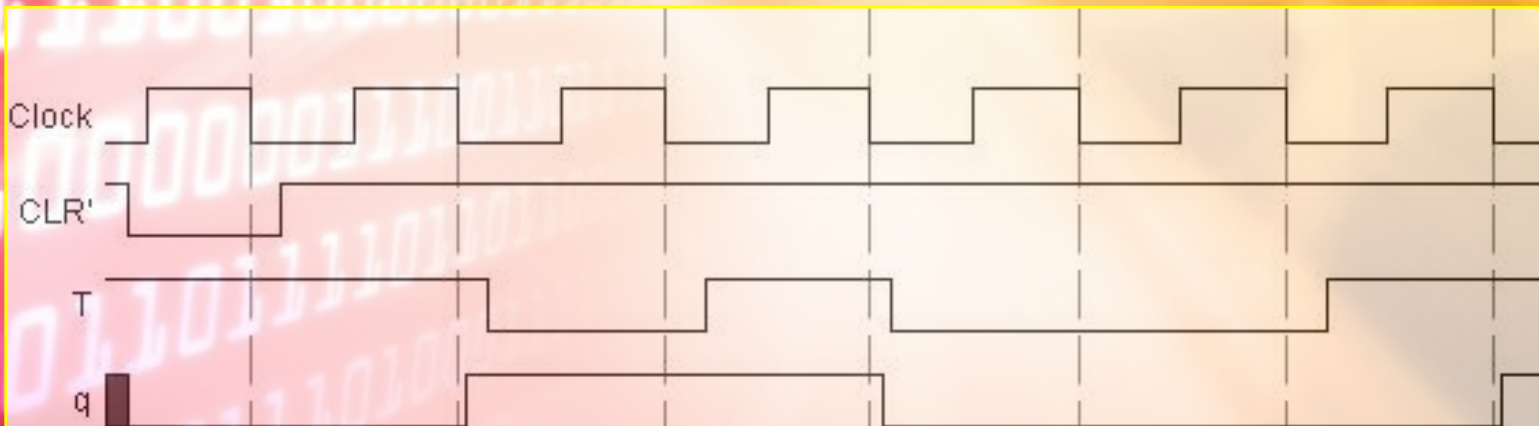


Diagrama de Bloques

# Flip-Flop T – Diagrama de estados y de tiempo



Ecuación para el comportamiento  $q^{n+1} = T \oplus q$



# Flip-Flop JK

Es una combinación del RS y del T, siendo así, su comportamiento es como el RS, con excepción cuando sus entradas  $J = K = 1$  provoca que el Flip-Flop cambie de estado, como si fuera un Flip-Flop T, basculacion.

Tabla de comportamiento

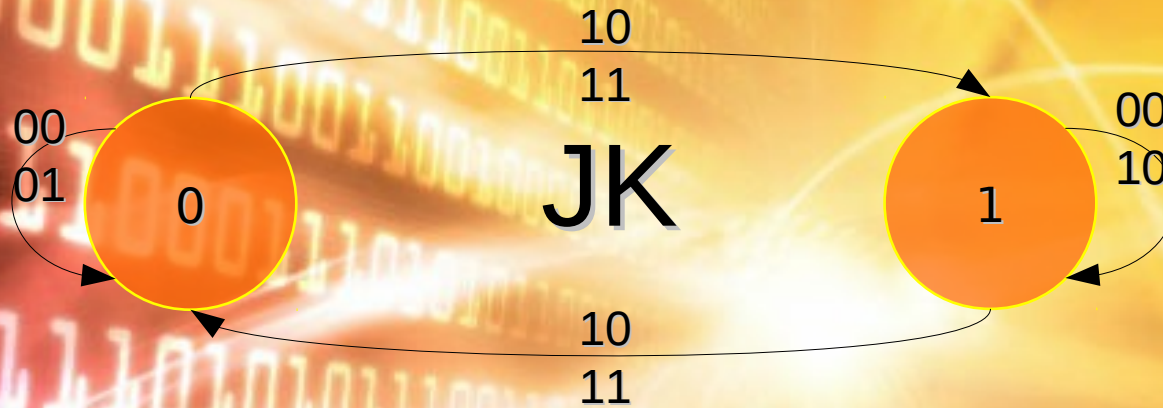
J	K	q	q <sup>n+1</sup>
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Tabla de estados

J	K	q <sup>n+1</sup>
0	0	q
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{q}$



# Flip-Flop JK – Diagrama de estados y Ecuación



q\JK	00	01	11	10
0			1	1
1	1			1

$$q^{n+1} = J\bar{q} + \bar{K}q$$

# Flip-Flop JK – Diagrama de tiempo

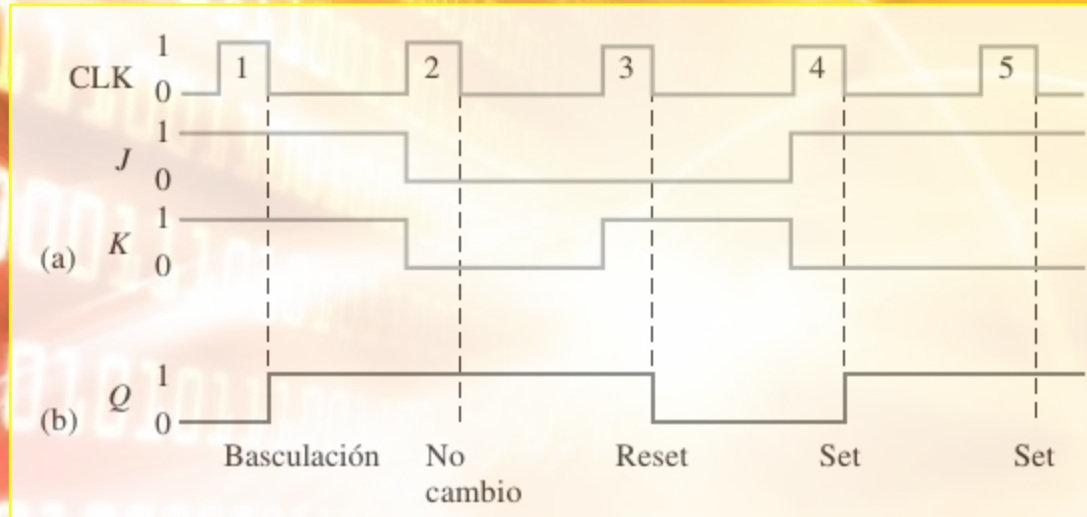


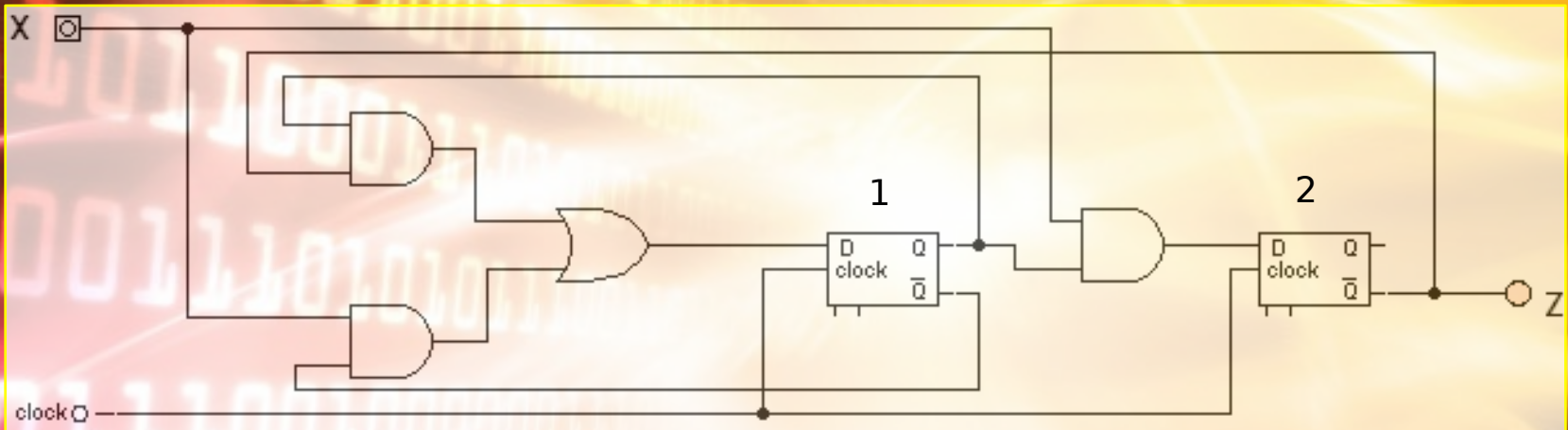
Diagrama de Bloques

q	q <sup>n+1</sup>	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Tabla de Transiciones

# Análisis de Sistemas Secuenciales

## Modelo tipo Moore con Flip-Flops tipo D



Del circuito encontramos:

$$D_1 = q_1 \cdot \bar{q}_2 + X \cdot \bar{q}_1$$

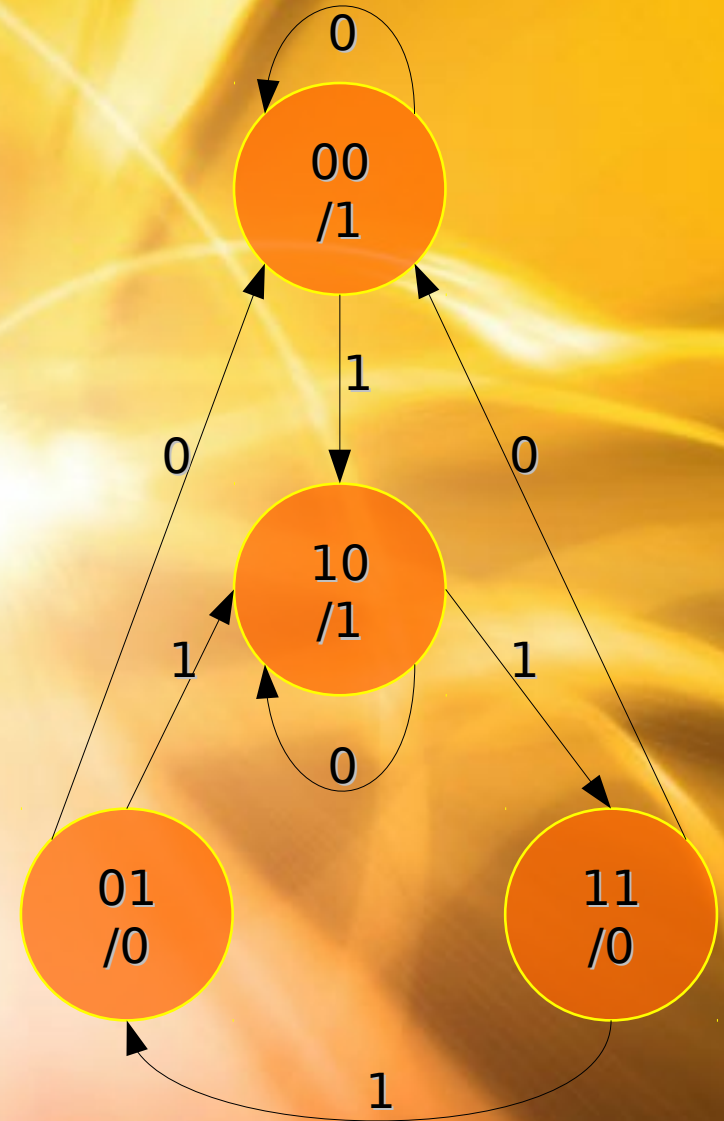
$$D_2 = X \cdot q_1$$

$$Z = \bar{q}_2$$

# Análisis de Sistemas Secuenciales

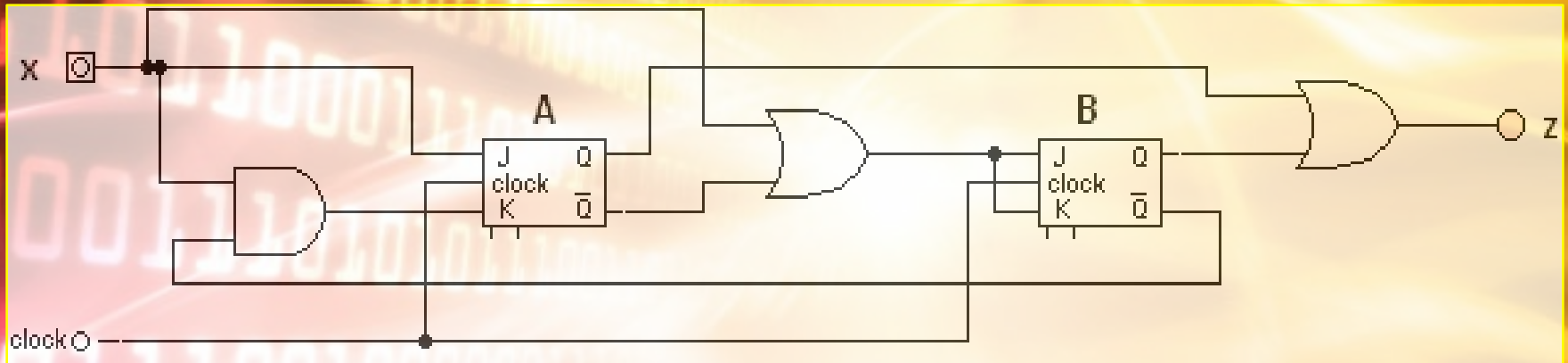
Tabla y diagrama de estados del circuito

$q_1$	$q_2$	$q_1^{n+1} q_2^{n+1}$		$Z$
		$x = 0$	$x = 1$	
0	0	00	10	1
0	1	00	10	0
1	0	10	11	1
1	1	00	01	0



# Análisis de Sistemas Secuenciales

## Modelo tipo Moore con Flip-Flops tipo JK



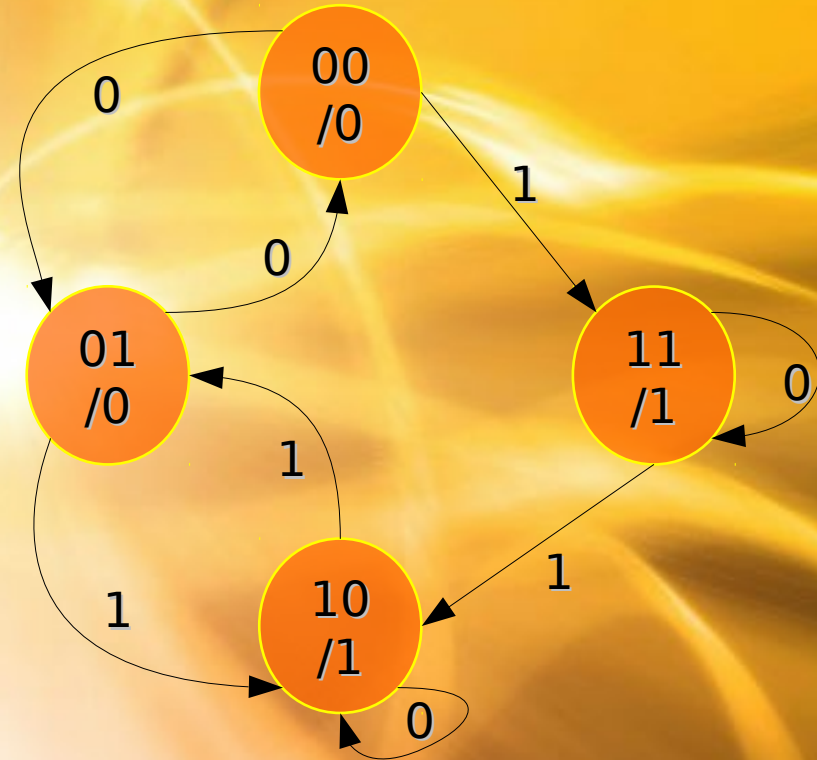
Este es un circuito de modelo tipo Moore, ya que la salida  $z$ , que es igual a  $A + B$ , es una función del estado, o sea, el contenido de los Flip-Flops, y no de la entrada  $x$ .

$$\begin{aligned} J_A &= X \\ K_A &= X \cdot \overline{Q_B} \\ J_B &= K_B = X + \overline{Q_A} \\ Z &= Q_A + Q_B \end{aligned}$$

# Análisis de Sistemas Secuenciales

Tabla y diagrama de estados del circuito

A	B	$A^{n+1} B^{n+1}$		Z
		x = 0	x = 1	
0	0	0 1	1 1	0
0	1	0 0	1 0	1
1	0	1 0	0 1	1
1	1	1 1	1 0	1

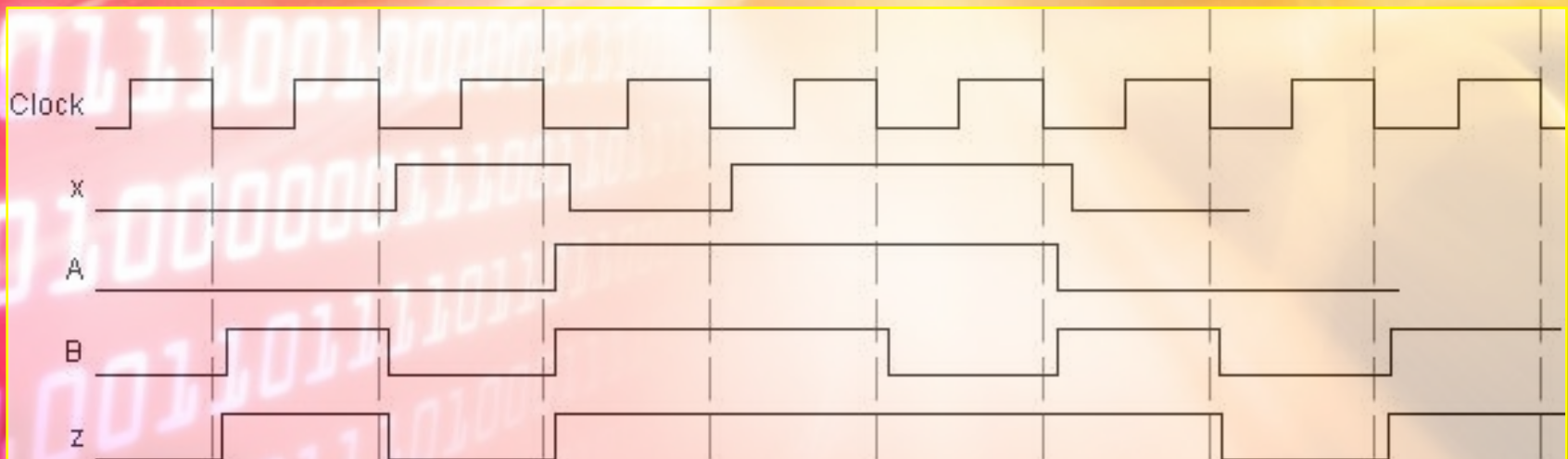


Para completar la tabla hay que tener en cuenta las ecuaciones de entrada de los Flip-Flops y el funcionamiento de cada uno de ellos para determinar el estado siguiente.

# Análisis de Sistemas Secuenciales

## Trazado en el tiempo y Diagrama de tiempos

<b>x</b>	0	0	1	0	1	1	0			
<b>A</b>	0	0	0	1	1	1	0	0		
<b>B</b>	0	1	0	1	1	0	1	0	1	
<b>z</b>	0	1	0	1	1	1	1	0	1	

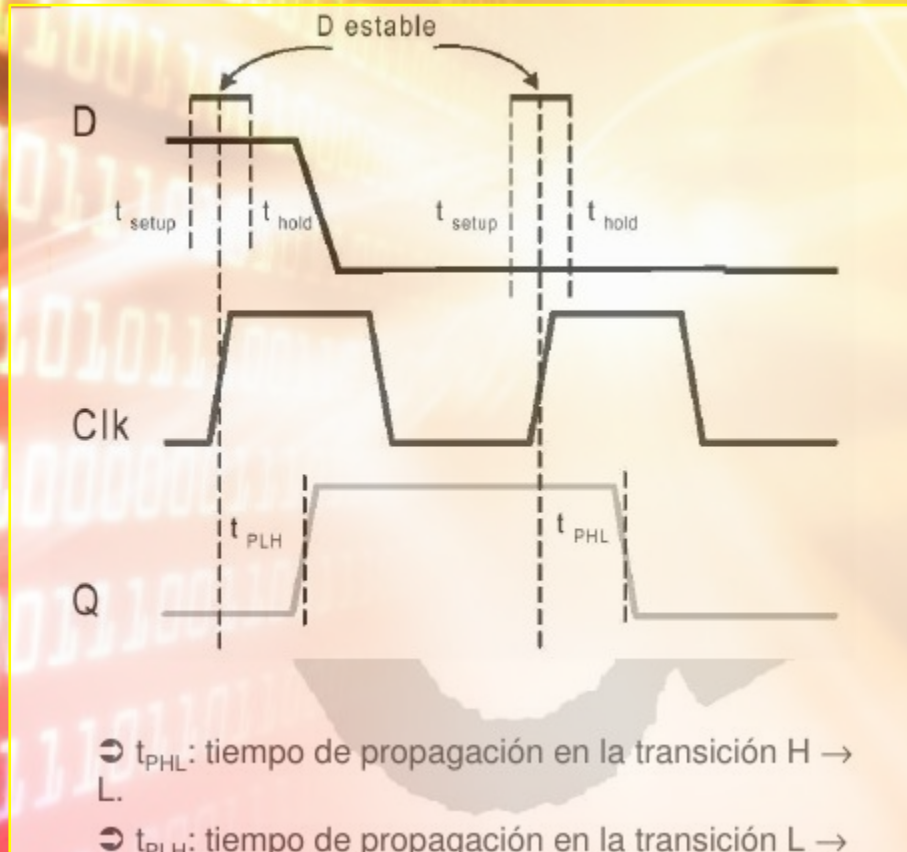


# Parámetros temporales de los biestables

- ◆ **Tiempo de propagación o retardo (delay time):** Tiempo necesario para que el efecto de un cambio en la entrada se haga estable en la salida.
- ◆ **Tiempo de establecimiento (setup time):** Tiempo mínimo anterior al flanco de disparo en que las entradas no deben variar (tiempo necesario para que el biestable asiente las entradas antes del flanco).
- ◆ **Tiempo de mantenimiento (hold time):** Es el tiempo máximo posterior al flanco de disparo en que las entradas no deben variar (tiempo necesario para que el biestable procese las entradas).
- ◆ **Anchura del reloj  $t_{WH}$  y  $t_{WL}$ :** Duración mínima necesaria para los pulsos de nivel alto y bajo respectivamente.
- ◆ **Frecuencia máxima  $f_{max}$ :** Máxima frecuencia permitida al reloj del biestable. Si se supera, el biestable puede funcionar mal.
- ◆ **Tiempo de preset y clear:** Es el tiempo mínimo que debe durar el nivel activo de las entradas asíncronas de puesta a 1 y puesta a 0 para que el biestable tome el valor pertinente. Este tiempo suele estar incluido en  $t_{PLH}$  y  $t_{PHL}$  respectivamente.



# Parámetros temporales de los biestables



# Flip-Flops con “Clear” y “Preset”

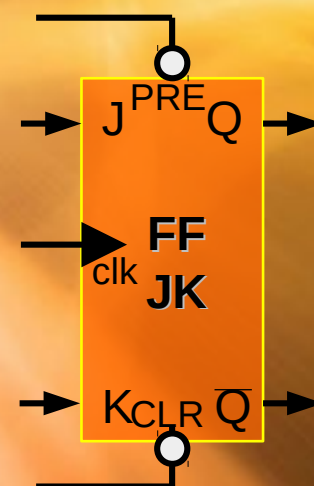
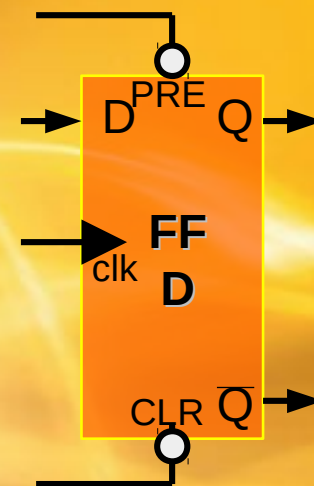
En los Flip-Flops que acabamos de estudiar, el RS, el D y el JK, se dice que sus entradas son entradas síncronas, ya que los datos de estas entradas condicionan la salida de los Flip-Flops sólo durante el flanco de disparo del impulso de reloj; esto significa que los datos se transfieren sincronizados con la señal de reloj.

La mayoría de los circuitos integrados Flip-Flops tienen también entradas asíncronas. Estas son entradas que pueden variar el estado del Flip-Flop independientemente del reloj. Generalmente, los fabricantes las denominan de inicialización, preset (PRE) y borrado, clear, (CLR), o de activación directa (SD, direct SET) y desactivación directa (RD, direct RESET). Un nivel activo en la entrada de inicialización del Flip-Flop (preset) pone a SET el dispositivo, y un nivel activo en la entrada de borrado (clear) lo pone en estado RESET.

Las entradas asíncronas de un biestable actúan al margen de las síncronas y prevalecen sobre ellas. Son muy útiles para iniciar o reiniciar el sistema con un estado inicial determinado.

# Flip-Flops con "Clear" y "Preset"

PRE'	CLR'	D	q	q <sup>n+1</sup>	
0	1	X	X	1	Constante inmediata
1	0	X	X	0	
0	0	X	X	-	Invalido
1	1	0	0	0	Normal
1	1	0	1	0	
1	1	1	0	1	
1	1	1	1	1	



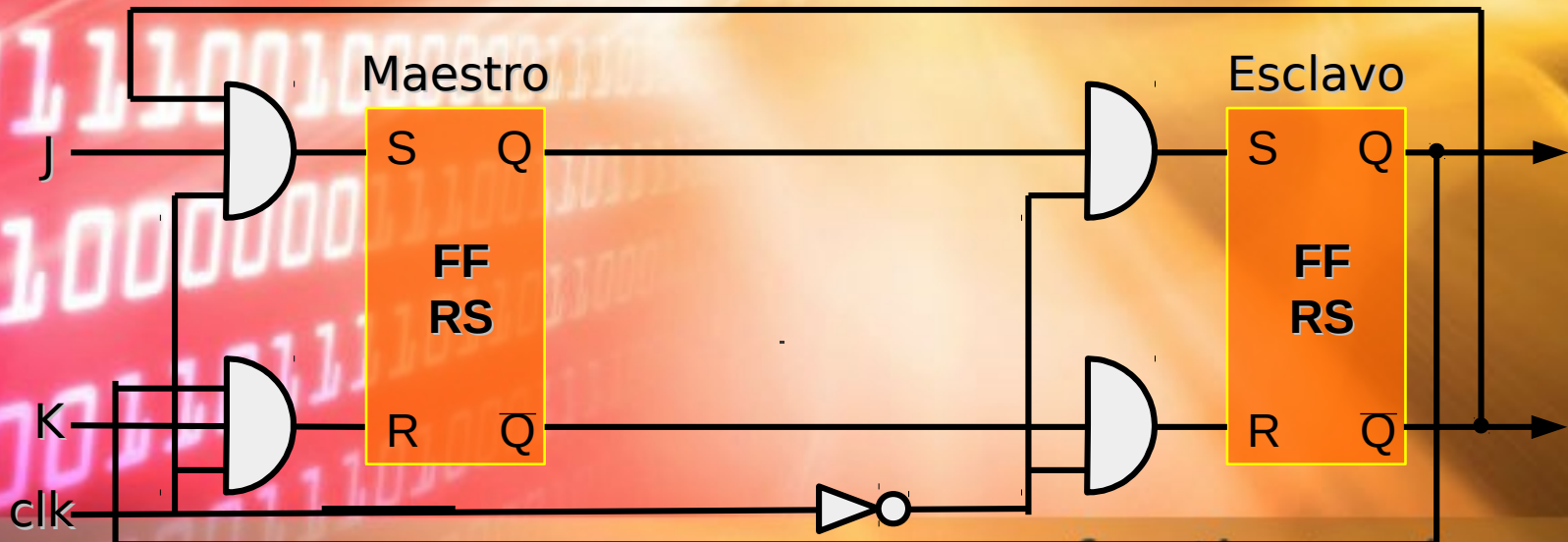
# Flip-Flop Maestro-Esclavo

Un Flip-Flop maestro-esclavo se construye con dos Flip-Flops, uno sirve de maestro y otro de esclavo.

Durante la subida del pulso de reloj se habilita el maestro y se deshabilita el esclavo. La información de entrada es transmitida hacia el Flip-Flop maestro. Cuando el pulso baja nuevamente a cero se deshabilita el maestro lo cual evita que lo afecten las entradas externas y se habilita el esclavo. Entonces el esclavo pasa al mismo estado del maestro. El comportamiento del Flip-Flop maestro-esclavo que acaba de describirse hace que los cambios de estado coincidan con la transición del flanco negativo del pulso.

Este tipo de biestables controlados por flanco se diseñan a partir de dos biestables sin entradas de control, conectados en cascada, más cierta lógica combinacional. Cuando el Clock está a 1, la información de entrada pasa al biestable maestro, mientras que el esclavo permanece cerrado, con lo que la salida no sufre variación. Cuando el Clock baja a 0 (flanco de bajada), la información del maestro pasa al esclavo y se cierra el maestro, con lo cual, los datos que en este instante estén en la entrada no pueden progresar, mientras que los datos que capturó el maestro y que ahora se transfieren al esclavo, son los que aparecen a la salida. Cuando el Clock vuelva a pasar a 1, se cerrará el esclavo con la información transferida anteriormente del maestro y que será la que esté presente en la salida, y éste se volverá a abrir. Luego la transferencia completa de la información, desde la entrada a la salida, sólo tendrá lugar durante los flancos de bajada de la señal del Clock.

# Flip-Flop Maestro-Esclavo



# Bibliografía y Licencia

- ◆ Acha, Santiago, Castro, Manuel, Rioseras, Miguel, "Electrónica Digital Introducción a la Lógica Digital" 2da Ed. (Ra-Ma 2010)
- ◆ Floyd, Thomas, "Fundamentos de sistemas digitales" 9na Ed. (Pearson 2006)
- ◆ Gonzalez Gomez, Juan, "Circuitos y Sistemas Digitales" (Madrid 2002)
- ◆ Este documento se encuentra bajo Licencia Creative Commons 2.5 Argentina (BY-NC-SA), por la cual se permite su exhibición, distribución, copia y posibilita hacer obras derivadas a partir de la misma, siempre y cuando se cite la autoría del Prof. Matías E. García y sólo podrá distribuir la obra derivada resultante bajo una licencia idéntica a ésta.
- ◆ Autor:

***Matías E. García***

Prof. & Tec. en Informática Aplicada  
[www.profmatiasgarcia.com.ar](http://www.profmatiasgarcia.com.ar)  
[info@profmatiasgarcia.com.ar](mailto:info@profmatiasgarcia.com.ar)

